

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



C1-13

Comité de Estudio C1 - Desarrollo de Sistemas y Economía

EFECTO DEL USO DEL ALUMBRADO PÚBLICO A ENERGÍA SOLAR Y DE LUMINARIAS TIPO LED A NIVEL RESIDENCIAL SOBRE EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL PARAGUAYO Y SU RENTABILIDAD

F. MITJANS*
ANDE
PARAGUAY

J. PULFER
FIUNA
PARAGUAY

Resumen *–El presente artículo tiene como objeto de presentar una propuesta novedosa y sustentable para la sustitución y el ahorro de energía eléctrica de la red pública principalmente en el área metropolitana de Asunción, Paraguay mediante la energía solar fotovoltaica y el uso de luminarias LED respectivamente, la reducción del consumo de energía resultante se produciría principalmente en horas de punta con el fin de disminuir la potencia contratada por la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) en la Itaipú Binacional y de esta forma optimizar costos y al mismo tiempo estabilizar los perfiles de tensión en las redes de transmisión y de distribución en la zona de Asunción. El ahorro planteado se lograría por un lado mediante la sustitución de miles de unidades de alumbrado público (AP) convencionales por AP a energía solar fotovoltaica y por otro lado la sustitución en las residencias domiciliarias de millones de luminarias incandescentes por luminarias de bajo consumo tipo LED. De este modo se lograría reducir la carga en horario de punta aproximadamente en 200 MW.*

En Paraguay durante todo el año se tiene un alto índice de radiación solar global variando entre 4kWh/m^2 día en invierno y 6kWh/m^2 día en verano favoreciendo la viabilidad a corto y mediano plazo de este tipo de proyectos basados en energías renovables. Su implementación se realizaría por parte de la ANDE en convenio con empresas del sector privado del país. El alivio de carga que se lograría es el equivalente a una línea de transmisión aérea de 220kV circuito simple (R,S,T) y la ANDE podría ahorrar por año hasta US$ 40,000,000 en concepto de la contratación de potencia en la Itaipú Binacional. La inversión de unos US$ 156,000,000 podría ser amortizada en un plazo de 10 años y tendrá un TIR del 8% y un VAN de US$ 134,000,000.

Palabras Claves: Paneles Solares Fotovoltaicos – Radiación Solar - Energía Renovable - Generación de Electricidad - Horas de punta - LED.

* Felipe.mitjans@gmail.com

1. INTRODUCCION

Para el suministro de energía eléctrica en el área metropolitana de Asunción se depende principalmente de la central hidroeléctrica de Itaipú tanto en el horario de punta como fuera de punta. Para el efecto la ANDE tiene que contratar potencia de la binacional, conforme la modalidad de pago establecida entre Paraguaya y Brasil en el tratado del año 1973, lo que implica cubrir la potencia máxima en horas de punta conjuntamente con la Usinas de Acaray y Yacyreta [1]. Durante la mayor parte del día (en horario fuera de punta), sin embargo esta potencia contratada no es aprovechada y genera al consumidor de la electricidad un sobrecosto innecesario en el precio de la tarifa eléctrica. Además, durante el verano, cuando rigen temperaturas muy elevadas, la demanda en energía eléctrica debido al uso cada vez más generalizado de acondicionadores de aire provoca sobrecargas en las redes de transmisión y de distribución y en consecuencia frecuentes cortes en el suministro.

Ambos inconvenientes se podrían solucionar en gran medida, si la empresa estatal ANDE disponía de una o varias usinas eléctricas, sean estas convencionales o no, para las horas de punta carga, una solución que ya se ha planteado en varias oportunidades por dicha institución. Existen proyectos de instalar en puntos críticos del país generadores térmicos para estabilizar las redes de transmisión y distribución, en horas de punta durante el verano. La problemática de las usinas térmicas convencionales es el uso de combustibles fósiles, que tienen que ser importados en un 100% costando al país una importante cantidad de divisas y que contribuyen además al calentamiento global debido a la emisión de gases de efecto invernadero. En el presente artículo presentamos una alternativa más ecológica y económicamente rentable que es la utilización de la energía solar fotovoltaica como recurso renovable de energía para la alimentación de luminarias para el alumbrado público (AP), a más del uso de luminarias de bajo consumo tipo LED en sustitución de luminarias incandescentes en residencias.

2. LA RADIACION SOLAR DEL PARAGUAY

A pesar de su clima bastante húmedo la radiación solar global en Paraguay es relativamente elevada. Sin embargo, no se cuenta con datos muy confiables provenientes de mediciones terrestres por falta de estaciones de medición apropiadas en nuestro país. Prácticamente la única fuente de datos disponible con series suficientemente largos para todo el país es el “Atmospheric Science Data Center” de la NASA [6], cuyos datos de promedios mensuales de radiación solar global se obtuvieron a través de mediciones satelitales sobre un periodo de más de 20 años. La distribución territorial de los datos con una resolución de 1° de longitud por 1 ° de latitud es bastante homogénea (ver Fig. 1). Los promedios anuales de la radiación global horizontal oscilan entre 4,7 kWh/(m^2 d) en Itapúa y 5,1 kWh/(m^2 d) en Alto Paraguay. El cuadrante correspondiente a la Ciudad de Asunción y sus alrededores tiene un valor medio diario de 4,9 kWh/m^2 o un promedio anual de 1788 kWh/m^2.

En Alemania, el líder mundial en la instalación de energía solar fotovoltaica, dicha radiación alcanza valores de solo 940 a 1050 kWh/m^2 según la región, es decir un poco más de la mitad de nuestro país. La variación interanual en la zona de Asunción es entre 2,9 kWh/(m^2 d) para el mes de junio y 6,6 kWh/(m^2 d) para los meses de diciembre y enero (ver Fig.2). Dado que es en invierno, cuando las noches son las más largas y consecuentemente se cuenta con la mayor demanda de energía para el AP, es necesario optimizar la orientación de los paneles solares para dicha estación. La orientación óptima en el hemisferio sur para todo el año es el norte y la inclinación óptima para el invierno equivale a la latitud más 20°, es decir 45° para la zona de Asunción. De esta forma se tendrá una radiación global sobre el plano del panel solar de 4,2 kWh/(m^2 d) en junio y 5,5 kWh/(m^2 d) en enero. El cálculo de los valores mensuales de radiación global sobre la superficie inclinada se realizó mediante el software RETScreen.

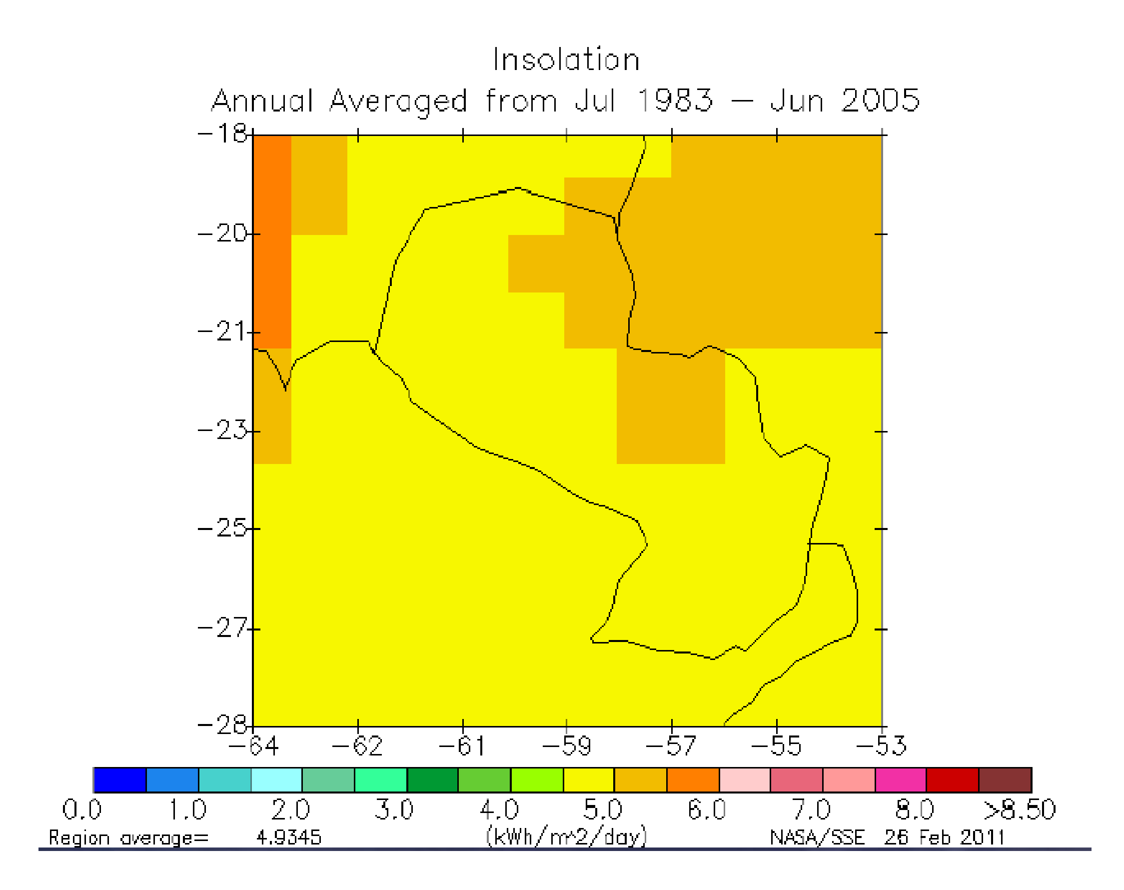


Fig. 1: Promedio anual de Radiación Global diaria de Paraguay, años 1983 a 2005 (fuente: [6])

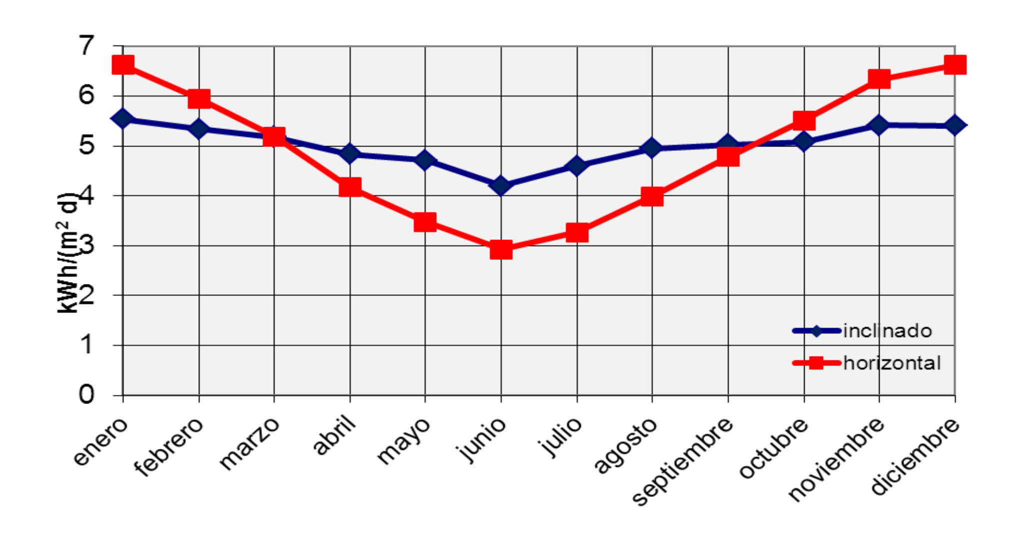


Fig. 2: Promedios mensuales de radiación solar global horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte e inclinado en 45° para Asunción y alrededores (fuente: [6], [2], y elaboración propia)

3. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que generan electricidad en corriente continua directamente a partir de la radiación solar. Se fabrican a partir de materiales semiconductores, que en la gran mayoría de los casos es silicio. Existe una amplia gama de modelos con potencias nominales que varían entre unos 5 y 300 Wp (Vatio pico). La cantidad de energía que generan es prácticamente proporcional a la radiación solar incidente del momento con un rendimiento de entre 15 y 20%. Los paneles solares fotovoltaicos se caracterizan por una larga vida útil que puede llegar a los 30 años, una baja necesidad de

mantenimiento y la facilidad para su instalación. Gracias a la masificación de esta tecnología en los últimos años, sobre todo en los países industrializados como Alemania, EEUU, España, Italia y Japón, su costo ha bajado considerablemente y ha llegado hoy en día a menos de 1 US$/Wp (precio mayorista en origen). A finales del 2013 se tenía instalado en el mundo 139 GWp en paneles solares, generando casi 1% de la demanda de electricidad del mundo [7]. Más del 95% de los sistemas solares fotovoltaicos existentes en el mundo son conectados a la red, diseñados para la generación distribuida de electricidad con un rango de potencia que puede variar entre 1 kWp y varios centenos de MWp. El sistema más grande en la actualidad tiene una potencia instalada de 290 MWp. Se trata del "Agua Caliente Solar Project" ubicado en Arizona, EEUU [8]. Los sistemas pequeños son instalados muchas veces en techos de edificaciones existentes, pero los sistemas grandes debido al importante espacio despejado que requieren son generalmente instalados en zonas rurales formando verdaderos parques solares cubriendo centenas de ha. En los sistemas conectados a la red la energía eléctrica generada por los paneles solares fotovoltaicos tiene que pasar por inversores que transforman la corriente continua en corriente alterna sincronizada con la red.



Fig. 3: AP solar (fuente: Sundrop Solar)

El pequeño restante de los sistemas fotovoltaicos es de tipo autónomo, es decir independiente de la red, diseñados para proveer energía eléctrica generalmente en zonas, donde no hay servicio eléctrico público. Dichos sistemas cuentan normalmente con un respaldo de energía en forma de baterías, que permiten el uso de energía durante la noche o durante las horas con insuficiencia de radiación solar. El Alumbrado Público (AP) solar es una aplicación típica de esta configuración. Cada elemento de AP conforma un sistema independiente con su panel solar y su batería, lo que hace innecesario el cableado entre los distintos elementos para su alimentación (ver Fig. 3). Otro componente que tiene que tener un tal sistema es un regulador de carga y descarga, un artefacto electrónico que protege la batería de sobrecarga y sobredescarga, cortando los circuitos correspondientes, cuando la batería alcanza los voltajes máximo y mínimo respectivamente. En el caso de los AP se encarga además del encendido y apagado automático de la luminaria acorde a la iluminación natural reinante. Existen inclusive reguladores de carga inteligentes que permiten programar según el horario la disminución de la intensidad de la luz, lo que reduce la demanda de energía y en consecuencia el costo en paneles solares y baterías (ejemplo: Phocos CIS-N series). La batería tiene que tener una capacidad suficiente para poder brindar una autonomía de varios días, para que el AP funcione también luego de un tiempo prolongado de cielo nublado.

4. LUMINARIAS TIPO LED

Para que un sistema de AP solar sea económicamente viable, las luminarias utilizadas tienen que ser lo más eficiente posible en la conversión de la electricidad a luz. Por este motivo y por el hecho que pueden funcionar en corriente continua, la mayoría de los sistemas disponibles en el mercado utilizan diodos emisores de luz (LED por su sigla en inglés), cuya eficiencia se ha incrementado de manera dramática en los últimos años. Con 150 lm/W han alcanzado en la actualidad la eficiencia de las lámparas de vapor de sodio de baja presión, las luminarias más eficientes que se tenían hasta hace poco (ver Fig. 4). Esas últimas sin embargo tienen el inconveniente que emiten una luz amarilla, la cual genera una reproducción cromática pobre para el ojo humano. Los LED utilizados en AP en cambio emiten luz blanca. Además, los LED tienen todavía un potencial de mejora de eficiencia, cuyo límite teórico es de unos 300 lm/W. Otra ventaja de los LED es su elevada vida útil de hasta 50,000 horas, un valor muy por encima de la de las luminarias convencionales, lo que reduce los costos de mantenimiento del AP. Otra ventaja que ofrecen las luminarias LED es la posibilidad de reducir su intensidad de luz mediante un "dimmer" pudiendo adecuarla en cada momento a la necesidad. Las luminarias LED están incursionando también en el ámbito de la iluminación de interiores. Ya existe una gran variedad de modelos y diseños, inclusive con casquillo E27, que permite el fácil reemplazo de luminarias convencionales.

Dado que la luz de los LED es direccionada no requieren de reflectores y reducen la polución lumínica en los exteriores. A pesar de tener una eficiencia energética similar permiten utilizar luminarias con la mitad de la potencia que los equivalentes convencionales de bajo consumo (ver Fig. 4).

Carta de equivalencias LED vs Convencionales	LED	Bombillas incandescentes	Halógenas	Halógenas tipo PAR	Fluorescentes compactas bajo consumo	Tubos fluorescentes T8	Lámparas de vapor de Sodio a alta presión	Lámparas de vapor de Sodio a alta presión sin balastro	Lumen (lm)
de interior	1W	10W							50~80
de interior	3W	20W							120~180
de interior	5W	25W							155~189
de interior	7W	35W							180~220
de interior	10W	60W			20W	20W			550
de interior	12W	80W			24W	24W			650~750
de interior	15W	100W			30W	30W			700
de interior	20W	150W			40W	40W			950
de interior	60W	400W			120W	120W	100W	300W	3000~3400
de interior	80W	450W			160W	160W	120W	380W	3800
de interior	90W	550W			180W	180W	150W	450W	4500~5100
de interior	120W	750W			240W	240W	200W	600W	6000~6800
de interior	150W	900W			300W	300W	250W	750W	7500~8500
de interior	160W	950W			320W	320W	250W	750W	7600
de interior	50W	400W			120W	120W	100W	300W	3200 (Max)
de interior	75W	550W			180W	180W	150W	450W	4800 (Max)
de interior	100W	750W			240W	240W	200W	600W	6400 (Max)
de exterior	60W	400W			120W	120W	100W	300W	3000~3400
de exterior	80W	450W			160W	160W	120W	380W	3800
de exterior	90W	550W			180W	180W	150W	450W	4500~5100
de exterior	120W	750W			240W	240W	200W	600W	6000~6800
de exterior	150W	900W			300W	300W	250W	750W	7500~8500
de exterior	160W	950W			320W	320W	250W	750W	7600
de exterior	60W	400W			120W	120W	100W	300W	3000~3400
de exterior	80W	450W			160W	160W	120W	380W	3800
de exterior	90W	550W			180W	180W	150W	450W	4500~5100
de exterior	120W	750W			240W	240W	200W	600W	6000~6800
de exterior	150W	900W			300W	300W	250W	750W	7500~8500
de exterior	160W	950W			320W	320W	250W	750W	7600
de exterior	50W	400W							
de exterior	75W	550W			180W	180W	150W	450W	4800lm (Max)
de exterior	100W	750W			240W	240W	200W	600W	6400 (Max)

Fig. 4: Cuadro comparativo Luminaria tipo LED y Luminaria Convencional, (fuente: www.luces-led.com)

Un elemento de AP solar típico reemplazando un AP convencional con una lámpara de vapor de sodio de alta presión de 150 W tendría entonces una lámpara LED con una potencia de 90 W. Para que esta pueda funcionar durante 14 h de seguido en invierno con la radiación solar media disponible en esa estación en la zona de Asunción, se necesitaría una potencia de 400 Wp en paneles solares (2 paneles de 200 Wp). Para una autonomía sin recarga de 4 días se necesitaría un banco de baterías con una capacidad de 5000 Wh. En caso que se opte por un sistema con "dimmer" automático considerando una reducción a la mitad de la intensidad de la luz durante 6 h por noche durante los horarios de menor tránsito (p.ej. 23:00 h a 5:00 h), se podría disminuir la potencia de paneles solares a unos 300 Wp y la capacidad de las baterías a unos 3800 Wh.

5. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El escenario planteado permitiría una adecuación óptima de la energía generada de acuerdo a la demanda durante las horas pico siguiendo lo mejor posible la curva de crecimiento y decrecimiento de la misma para disminuir la potencia generada se procede en el sentido inverso. La tensión a suministrar al usuario y la corriente resultante de sus equipos debería ser ondas senoidales perfectas, de 50Hz, para nuestro sistema eléctrico, sin embargo las cargas no lineales presentes en el sistema eléctrico causan distorsión en las formas de onda de corriente y tensión. Estas cargas producen corrientes no senoidales a pesar de ser abastecidas por una tensión senoidal pura. La distorsión de corriente provoca a su vez una distorsión de tensión al fluir a través de las impedancias del sistema [11]. Entre las previsiones que la ANDE deberá tener presente durante la implementación de este tipo de tecnologías es la Tasa de Distorsión Harmónica (THD), la cual determinará la calidad de la energía eléctrica suministrada al usuario. La misma deberá ser medida y evaluada desde la salida de los alimentadores de distribución ubicadas en las barras de 23kV. En baja tensión el valor de THDI y de las corrientes armónicas individuales corresponden al percentil 95. El valor indicado del percentil 95 significa que el 95% por ciento de las veces en el transcurso de la medición el valor de la Tasa de Distorsión Harmónica de Corriente (THDI) y de las corrientes armónicas individuales ha sido menor o igual al valor correspondiente calculado en cada caso [10]. Los equipos de monitoreo on-line displays deberán estar situados en la sala de celdas de 23kV, donde a cada celda corresponde una posición de alimentador hasta los puestos de distribución.
Una vez procesada la información la misma deberá ser enviada a la sala de control de la Estación, centralizando la información en el panel de 23kV previendo la instalación de un display especial en el panel. Teniendo en cuenta que la demanda de carga en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) es predominantemente residencial. En las estaciones convencionales en Paraguay se instala por cada 5 alimentadores de potencia de 5MVA 1 banco de capacitores de 6MVAR de potencia, por cada barra simple en 23kV, el sistema de conexionado de los bancos de capacitores estaría en estrella con neutro aterrado y

contaría con un transformador de corriente y con un relé de protección para desbalanceo de corriente y para sobrecorriente respectivamente [3]. No prevé el control de la distorsión de tensión y carga que pueda ocasionar gran cantidad de cargas no lineales en el Sistema, ya que los bancos de capacitores de las distintas estaciones en el Sistema Eléctrico solo están dimensionados para disminuir el efecto reactivo de las líneas de distribución que puedan ocasionar cargas puramente reactivas y actúan parcialmente como filtros para atenuar la onda fundamental senoidal de corriente y tensión. Se resalta que el factor de potencia es un indicador que busca de alguna manera medir la "eficiencia" del consumo. Así, un bajo factor de potencia indica elevados requerimientos de capacidad (corriente) de los equipos para un bajo consumo de potencia activa (útil). Por ello la desconsideración de los armónicos en las mediciones puede inducir a un dimensionamiento erróneo del sistema eléctrico, así como a su operación técnicamente no optimizada. A los fines de evaluar el posible impacto en la facturación, se ha desarrollado una rutina en el programa **SCILAB 5.4.0** [12], versión libre, que implementa un algoritmo de simulación de mediciones de tensión, corriente, potencia activa, potencia aparente y factor de potencia, pretendiendo simular a un medidor de energía eléctrica. Para el efecto se utiliza la transformada de Fourier (FFT), que para el caso de una señal periódica, la transformada de Fourier $F(\omega)$ es discreta. Con esta herramienta matemática se hallan los componentes armónicos, reconstruyendo las señales de tensión y corriente, ambas con contenido armónico hasta el orden 25, y a partir de estos valores se realizan los diferentes cálculos deseados. En este caso se utiliza una ventana de análisis de 20 ms, utilizándose una frecuencia de muestreo de 2500 Hz. Como punto adicional a lo mencionado anteriormente también deberá tenerse en cuenta el aumento en el dimensionamiento del neutro del centro estrella del banco de capacitor conexionado en estrella a más de esto incorporar filtros para atenuar la onda senoidal y evitar de este modo armónicos que ocasionen una mala operación y sincronización en las actuaciones de las protecciones del sistema eléctrico.

6. IMPACTO SOBRE EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

Tomando en consideración los datos de la curva de carga típica del SIN del 1-02-2013 (ver Fig. 5) se notan claramente 2 picos de consumo. La primera de menor amplitud se produce entre las 14 y 16 horas y la segunda más importante entre las 20 y 22 horas alcanzando un máximo de casi 2430 MW. En el valle durante la madrugada tenemos en cambio una demanda de solamente 1730 MW. Sin embargo, se registraron picos en los últimos años (2306 MW diciembre 2012, 2028 MW noviembre 2011, 1941 MW febrero 2010). Se evidencia entonces la necesidad de la construcción de una central de punta o de algún tipo de solución en ese horario para poder subsanar el presente inconveniente.

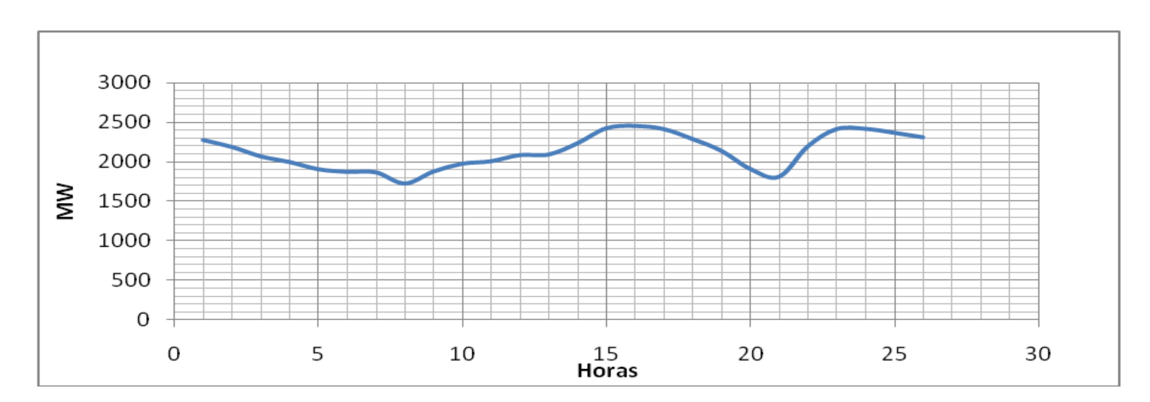


Fig. 5: Curva de carga característica de la demanda de electricidad, año 2013 (fuente: ANDE)

La implementación de paneles solares fotovoltaicos y el uso de luminarias de bajo consumo tipo LED propuesta entraría en funcionamiento en esos horarios de punta con la central Acaray, paliaría de gran manera el inconveniente que se presenta para la empresa estatal, teniendo en cuenta que totalizaría una carga no suministrada del orden de los 200MW, en horario de punta carga, el equivalente al 8,23% de la demanda de carga máxima. (Ver Fig.5). De esta cantidad el 15% corresponde a la implementación del Sistema Fotovoltaico para AP y el 85% corresponde a la implementación luminaria tipo LED en residencias domiciliarias. Si analizáramos por separado la implementación de ambas tecnologías nos encontraríamos con la dificultad económica, teniendo en cuenta que el costo de inversión de sistemas fotovoltaicos sería muy elevado y no permitiría la amortización del mismo en un tiempo razonable. Por este motivo se analizó

solamente la implementación en conjunto de los AP solares fotovoltaicos y las luminarias tipo LED en sustitución de luminarias incandescentes en residencias domiciliarias. Cabe recalcar que en la actualidad el SIN solo cuenta con una usina para las horas de mayor consumo que es la Central de Acaray. La misma no se encuentra operando a su máxima capacidad debido a la falta de inversión en la misma. Está actualmente en proceso de adjudicación la construcción de la Central Hidroeléctrica Yguazú, la cual funcionará como central de punta con una potencia instalada de 200MW y que en conjunto con la Central de Acaray que tiene una potencia de 210MW, totalizaría una potencia disponible en horario de punta carga de 410MW. Como punto adicional a lo anteriormente mencionado encontramos la limitación de potencia en la Central Binacional Yacyretá (Paraguay-Argentina) lado paraguayo, que en la actualidad es de 500 MVA, esto debido a que no se cuenta con los 2 autotransformadores de 500/220kV de 375MVA, totalizando 750MVA. A más de esto todas las adecuaciones que deberán de realizarse en la barra de 500kV para la puesta en servicio de los equipos, limita el transporte de más potencia en el horario de punta carga y con ello obliga a la contratación de más potencia de la Central Hidroeléctrica de Itaipú y con ello se encarece el pago trimestral/anual que la ANDE tiene que realizar a la binacional. Otro punto a considerar es que actualmente el SIN es abastecido a través de 7 líneas de transmisión aérea en el nivel de 220kV [1]. Las mismas se saturan operando al límite con temperatura de 80ºC debido a la alta demanda de carga en el verano y la falta de un uso eficiente de la energía eléctrica en las viviendas, razón por lo que la implementación de alternativas, sean estas convencionales o no convencionales, amerita una atención a corto plazo para poder subsanar este inconveniente [4]. Para la evaluación técnica de la implementación de los paneles solares fotovoltaicos y las luminarias de bajo consumo en el SIN y sus efectos en el mismo fueron tenidos en cuenta el sistema eléctrico actual, la entrada en servicio de la Central Hidroeléctrica Yguazú, sin la puesta en servicio de los autotransformadores de Yacyretá en el año 2016. Cabe recalcar que para todos los escenarios se supuso que la línea de 500kV Itaipú-Villa Hayes se encuentra en servicio. Es importante recordar que si bien la Línea de Transmisión Aérea de 500 kV entre Itaipú y Villa Hayes, que se encuentra culminada, incrementará considerablemente la capacidad de transmisión en el SIN en todos los niveles de tensión (220, 66, 23 kV), con una inyección de carga de 2400MW, no se resolverá con ella el importante desfasaje que existe entre la demanda en horas de punta y fuera de ellas. Esto significa, que la necesidad de una central de punta seguirá existiendo para poder llegar a un factor de carga más equilibrado. La otra posible estrategia para lograr este objetivo sería el fomento del consumo en horarios fuera de punta ofreciendo tarifas diferenciales según el horario, por ejemplo para cocinas eléctricas domiciliarias o industrias electrointensivas [5].

7. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Para la realización del proyecto propuesto se estima una inversión total de unos US$ 190,000,000. Considerando un aporte propio del emprendimiento por la ANDE de unos US$ 34,000,000, se requeriría una financiación externa de unos US$ 156,000,000. En el monto de las inversiones se consideraron los beneficios que otorga la Ley N° 60/90 sobre el fomento de las inversiones. Para este tipo de proyectos basados en energías renovables y eficiencia energética existen fondos con tasas de interés muy bajas y plazos de pago largos. Un ejemplo a citar aquí sería el crédito que el Gobierno del Japón ofreció al Paraguay para el financiamiento de la maquinización de la represa de Yguazú, cuyo costo de estima a US$ 240,000,000, es decir unos 26% más caro que nuestro planteamiento para la misma potencia. Para los cálculos de rentabilidad del presente proyecto hemos entonces contemplado un interés del 1% anual y una gracia de 2 años. El planteamiento económico en este caso es que dicha inversión sería amortizada no por la venta de energía, sino mediante el ahorro que la ANDE obtendría por la reducción de la potencia contratada en la central hidroeléctrica de Itaipú. Dicho ahorro equivaldría a un valor anual de unos US$ 40,000,000. Las inversiones podrían ser amortizadas en un plazo de 10 años resultando en un TIR del 8% y un VAN de US$ 134,000,000. Como ingresos del emprendimiento se consideraron, como ya fue mencionado anteriormente, el ahorro en la contratación de potencia en Itaipú. Tratándose de un proyecto de energía renovable podría beneficiarse del Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, que posibilitaría la emisión y comercialización de bonos de carbono. Considerando como línea de base para un proyecto una central térmica de la misma potencia utilizando gas natural como fuente de energía y un valor de 10 US$/t CO_2, se podría generar un ingreso anual adicional de unos US$ 8,000,000. El TIR aumentaría entonces a 12% y el VAN a US$ 240,000,000 [13].

8. PROYECCIÓN

Conforme a los datos relevados por la empresa estatal ANDE hasta el momento la cantidad de luminarias para AP, con que contaría a nivel país es de 160.000 en distintos tipos de potencia [1]. Según los datos del Sistema de Gestión Integrado de Distribución Eléctrica (SGIDE) esta cantidad sería de 400.000 luminarias [9]. Para el estudio de pre-factibilidad que planteamos aquí, consideramos solo las 160.000 luminarias a ser transformadas a alimentación con energía solar, distribuidos por clase de potencia (Ver Fig.6).

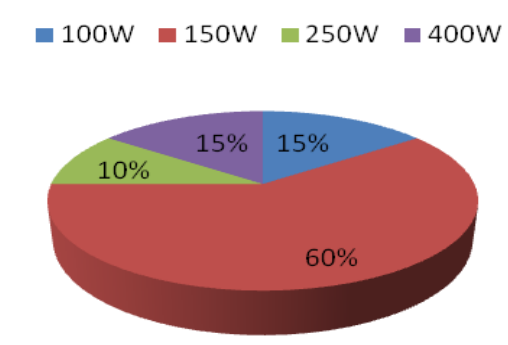


Fig. 6: Distribución de Luminarias tipo Alumbrado Público, año 2013 (fuente: ANDE)

Con la implementación de este tipo de proyectos estimamos una disminución de demanda de potencia en el sistema eléctrico paraguayo del orden de los 30MW en el horario de punta carga. Si a esto le adicionamos la incorporación de 2.000.000 de luminarias de bajo consumo asimilando a una lámpara incandescente de 100W y su similar de bajo consuno tipo LED de 15W, encontramos una disminución de 170MW, totalizando así una disminución de demanda de potencia de 200MW en el SIN.

9. CONCLUSIONES

El presente trabajo, que representa recién un estudio de pre-factibilidad, quiere demostrar que es técnica- y económicamente factible la implementación de este tipo de tecnologías, para horas de punta sin contaminar el medio ambiente, cuya fuente de energía es totalmente renovable y además generada localmente. El beneficio económico de la implementación de proyectos en energías renovables en términos de ahorro sobre la contratación de potencia en Itaipú es considerable y permitiría amortizar la inversión necesaria en un plazo razonable. Otro importante beneficio sería la creación de una importante cantidad de empleos, no solo durante la implementación del proyecto, sino también durante su operación. La propuesta es totalmente innovadora, dado que no se conocen hasta el momento proyectos con un enfoque similar.

REFERENCIAS

[1] Plan Maestro de la Administración Nacional de Electricidad (2013-2023)
[2] Apuntes de la Maestría en Energía para Desarrollo sostenible, Universidad Politécnica de Cataluña (España).
[3] Especificaciones Técnicas de la Ande para la Construcción de Estaciones y Subestaciones 220/66kV.
[4] Norma NBR 5422, Construcción de Líneas de Transmisión.
[5] Pliego de Tarifas N°20, Administración Nacional de Electricidad (ANDE).
[6] Atmospheric Science Data Center: Surface meteorology and Solar Energy, http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/ (promedios mensuales de radiación solar global 1983-2005).
[7] Wikipedia: Energía solar fotovoltaica (consultado el 27/10/2014).
[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Agua_Caliente_Solar_Project (consultado el 27/10/2014).
[9] EE.TT Licitación Pública Internacional Ande LPI Nº 805/2014.
[10] IEEE Recommended Practice and Requeriments for Harmonic Control in Electrical Power Systems; IEEE Std519-1992; IEEE Press; USA, 1992.
[11] Parra López, Estrella Esperanza; Análisis de armónicos en sistemas de distribución; Universidad Nacional de Colombia; Facultad de Ingeniería; Unibiblos; Colombia, 2004.
[12] www.scilab.org.
[13] EU. ETS Carbon price. Thompson Reuters Point Carbon, 2013.